心理科学进展 2022, Vol. 30, No. 10, 2219–2227
Advances in Psychological Science

https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2022.02219

类别注意控制定势在注意捕获中的加工机制*

吴 瑕[1,2,3,4] 王浚哲[1] 王 赟[1] 陈 瀛[5] 杨海波[1,2,3]

([1]天津师范大学心理学部; [2]教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院; [3]学生心理发展与学习天津市高校社会科学实验室, 天津 300387) ([4]中国科学院大学心理学系, 北京 100049) ([5]天津职业技术师范大学职业教育学院, 天津 300222)

摘 要 注意捕获是指注意定向的过程中刺激不自觉地捕获注意的现象。在复杂的视觉搜索任务中, 类别注意控制定势(cACS)能够帮助我们将注意引导到与目标定义类别匹配的刺激上, 并对其进行优先加工。探讨cACS在注意捕获中的加工机制, 不仅能够扩展注意捕获领域的理论研究, 还能对实际生活提供指导。通过文献梳理, 从cACS的作用阶段、cACS的加工强度及cACS作用时的激活脑区三个方面总结了注意捕获中的cACS的加工机制。未来研究可以就抑制分心物的ACS、不同类型的cACS加工差异和人工类别ACS加工过程等进行探讨。

关键词 注意捕获, 注意控制定势, 类别, cACS

分类号 B842

1 引言

人们生活的外部环境中充斥着大量繁杂的信息, 为了当前任务能够顺利进行, 大脑必须快速地选择有效信息, 排除无关信息, 所以视觉搜索和注意定向就显得尤为重要。注意捕获是指在注意定向的过程中, 与任务无关的刺激不自觉地捕获注意, 得到优先加工的现象(Folk & Remington, 1998; Theeuwes, 1992)。例如穿越丛林时, 危险的动物能够迅速捕获注意, 这样才能保证个体的生命安全。注意捕获揭示了注意选择过程中对无关刺激的加工状态, 因此, 对它的探讨能够帮助我们更深刻地理解自上而下和自下而上加工的联系与区别。

根据注意捕获相关理论, 可以将注意捕获分为自下而上与自上而下两种。注意捕获是自下而上的加工观点认为注意选择发生在前注意(pre-attentive)阶段, 是自动化的注意转移, 且完全基于自下而上的特征(凸显性)进行定向。只有早期注意定向到某个客体和位置上, 其特征和属性才能够得到进一步加工(Theeuwes, 1992)。注意捕获是自上而下加工的观点则认为, 只有当分心物与目标的属性相匹配时, 分心物才会捕获注意(Folk et al., 1992)。Folk等人(1992)提出, 注意捕获是由注意控制定势(attentional control settings, ACS)决定的, ACS又被称为“注意模板” (attentional template), 它能够引导注意定向到与当前任务相关的刺激上, 以此来优先加工与目标属性匹配的物体, 类似于过滤器的作用。譬如, 当要求寻找红色目标, 红色ACS会引导注意定向到相关刺激上, 所有红色的物体都会得到优先加工, 从而使个体更好的搜索到红色目标。ACS是个体根据当前任务需求主动进行选择的, 较少受到过去选择历史的影响(Giammarco et al., 2021)。Luck等人(2021)对传统的自上而下和自下而上的观点进行融合, 认为影响自上而下和自下而上作用的决定因素是个体能否对显著的分心物进行主动抑制。刺激项目较少时, 个体可以有效地抑制显著的分心物, 因此注意捕获更多受到自上而下的加工。随着刺激项目的增多, 个体无法抑制对显著分心物的注意, 所以会受到更多自下而上的加工影响(Wang & Theeuwes, 2020)。

收稿日期: 2021-05-13
* 中国博士后科学基金(资助编号: 2021M693377)、天津市哲学社会科学规划重点项目(TJJX21-001)。
通信作者: 杨海波, E-mail: yanghaibo@tjnu.edu.cn

许多研究发现，特定维度的目标定义属性都会产生特异性的 ACS，如出现与否(Kiss & Eimer, 2011)、颜色(Folk et al., 2002; Lamy et al., 2004)等，并以此形成特征特异的 ACS (feature-specific ACS, fACS)。除了 fACS 外，有许多研究证实了在视觉搜索和注意选择过程中存在类别特异的 ACS (category-specific ACS, cACS; Wu et al., 2013; Alexander & Zelinsky, 2011; Yang & Zelinsky, 2009; Reeder & Peelen, 2013; Peelen et al., 2009)。Yang 和 Zelinsky (2009)要求被试在日常生活用品中搜索泰迪熊，结果发现，虽然泰迪熊形态各异，但只要是泰迪熊类别的刺激都会吸引注意，证实了视觉搜索是可以基于类别信息的。Reeder 和 Peelen (2013)采用点探测范式，结果发现，当提示和目标属于同一类别时，反应时快于不同类别，说明 cACS 在视觉搜索和注意选择过程中起作用。cACS 反映了目标导向的注意控制对注意捕获的影响，并且关注了较为复杂的类别信息加工，因此，本文中主要探讨自上而下的 cACS 对注意捕获的影响。

由于信息的复杂多变，我们无法单独地了解世界上的每一个物体，但能在类别层面上对它们进行分类。类别是由多个客体组成的集合，它可以有效地减少信息负载，使人们更高效地分配认知资源以应付不断变化的环境(Reeder & Peelen, 2013)。同时，类别加工是较复杂和高级的加工，与我们的思维逻辑和概念的形成息息相关(Peelen & Kastner, 2014)。与实验室的研究相比，生活中有很多情境需要人们对类别信息进行迅速的注意选择和加工。例如：过马路时需要识别和注意来往车辆、反恐警察需要在喧闹的人群中迅速锁定危险分子等。因此，考察在注意捕获过程中 cACS 的作用及加工机制，不仅能够扩展及丰富前人对注意捕获领域的理论研究，还能更好的将实验室与现实生活相结合，对实际的生产生活提供依据和指导，具有重要的理论意义和应用价值。本文基于已有研究，对 cACS 的作用阶段、加工强度及其影响因素和作用时参与的脑区进行综述和讨论，从而整合并提出 cACS 在注意捕获中的加工机制，最后提出研究展望。

2 类别注意控制定势的作用阶段

cACS 在注意捕获过程中的哪些阶段起作用?对于其作用阶段的考察，不仅能够探究 cACS 作用的时间进程，还能够帮助我们理解注意捕获过程的本质。然而，以往对于 cACS 的作用阶段存在争议，研究发现 ACS 在刺激呈现之前、刺激加工早期阶段、注意选择晚期阶段均会起作用，因此，不同条件下 cACS 作用阶段的差异和整合将是未来研究的趋向。

传统的理论(Theeuwes, 1992; Folk et al., 1992)认为，ACS 会在刺激呈现后起作用。然而，有研究发现，ACS 不仅作用于感知觉加工后阶段，还会在刺激未出现时根据目标定义进行预激活(preparatory activity)。Grubert 和 Eimer (2018)在目标出现之前连续呈现多屏线索，结果发现，虽然没有呈现目标，但线索屏依然引发了显著的 N2pc (注意到的物体对侧引发的负波，与早期注意相关)，说明 ACS 可以在目标出现之前预先激活。Grubert 和 Eimer (2020)发现，注意系统可能同时预激活多个 fACS。此外，Grubert 等人(2017)还发现，当个体已经将注意转移至目标位置后，ACS 会在 100 ms 内进行快速的去激活，在后续的注意选择阶段，ACS 又会重新激活。然而，目前仍然不确定预激活与去激活能否出现在 cACS 中，这可能会受到 cACS 激活方式的影响：如果 cACS 激活的是整体的类别信息，那么其预激活模式就会和 fACS 类似，可以同时进行多个 cACS 的预激活；如果 cACS 激活的是类别内所有项目信息，那么预激活会受到工作记忆容量的影响，超出容量项目的 cACS 则不会进行预激活。可以预期的是，随着任务类别复杂程度的增加，个体消耗的认知资源会越多。相对于单一的特征，cACS 预激活的时间可能会提前，去激活的时间可能会延后。

预激活后，ACS 会作用于当前搜索任务。当目标定义为类别时，与 cACS 匹配的刺激能够得到优先的定向，产生注意捕获；与 cACS 不匹配的刺激则会受到抑制。然而，cACS 在任务中的作用阶段仍然存在争议。一方面，有研究认为 cACS 作用于早期的前注意阶段，选择与目标属性相关的刺激并进行优先定向和加工(Kiss et al., 2008; Lien et al., 2010)。Battistoni 等人(2018)运用脑磁图(magneto-encephalo graphy, MEG)来考察基于类别信息的视觉搜索及空间定位的时间进程。结果发现，在刺激呈现后 240 ms 时，空间注意会定位到目标位置，而 180 ms 时就已经完成对类别目

标刺激的解码。这说明, 自上而下的注意会先调节类别加工, 之后才会进行对目标刺激的定位, cACS 的加工阶段发生在早期空间注意之前。另一方面, 有研究认为 cACS 发生在晚期的巩固加工阶段。延迟脱离模型(delayed disengagement model, Theeuwes, 2010)认为, 注意捕获的早期阶段是由刺激驱动的, 无论是否与目标相关, 凸显的刺激均会得到注意捕获, ACS 的作用较少。在更晚的阶段, ACS 才使注意力从与目标不匹配的刺激中脱离出来并让注意资源重新回到与目标相关的刺激物上。Contini 等人(2017)也提出, 从时间进程上来看, 低水平的特征表征引导的注意加工发生在早期阶段, 而高级别的类别表征引导的注意加工则发生在晚期阶段。

两阶段加工理论(two-stage selection scenario, Kiss et al., 2013)试图调和 cACS 作用阶段的矛盾, 该理论认为 cACS 的加工既会发生在早期阶段, 也会发生在晚期阶段：在早期的注意定向中, 不同任务特征会形成不同的ACS并由各自的特征通道独立控制, 之后在晚期的巩固加工中, 多个 ACS 会进行整合, 对刺激进行整体的注意调节和识别。Eimer 和 Grubert (2014)采用了联合搜索任务, 将目标定义为颜色特征和形状特征的结合(例如蓝色方形), 要求被试在特征部分匹配的分心物中尽快找到目标。结果发现, 刺激呈现后大约 250 ms, 颜色与形状部分匹配的分心物引发的 N2pc 之和等于目标所引发的 N2pc。然而, 刺激呈现 250 ms 之后, 目标的 N2pc 大于部分匹配分心物的 N2pc 之和。这表明, 在早期(250 ms)对颜色和形状所形成的特征 ACS 相对独立并平行加工; 而在其后的阶段(250 ms 之后)两种 fACS 整合为一个客体 ACS 来调节注意, 只有完全符合两种 fACS 的目标才能够引发更强烈的注意定向, 结果支持了两阶段加工理论。

此外, 有研究发现, 两阶段加工理论不仅适用于基于特征的注意加工, 也适用于基于类别的注意加工。Jenkins 等人(2016)发现, 注意系统能够对字母或数字类别进行早期的平行加工。Wu 等人(2016)将目标定义为颜色特征和字母类别的结合(如蓝色的字母), 结果发现, 早期阶段颜色的 fACS 和字母的 cACS 独立作用, 晚期阶段两种 ACS 进行整合并影响目标识别。Wu 等人(2020)进一步将目标定义为颜色类别和形状类别的结合(如暖色的“O”形), 结果发现, 早期阶段两种 cACS 也可以独立作用, 对匹配的刺激进行注意定向(N2pc, 220~260 ms), 并对不匹配的刺激进行注意抑制(P_D, 分心物对侧引发的正波, 与注意抑制相关, 290~330 ms), 之后在晚期反应选择阶段进行整合从而影响目标识别。这证实了 cACS 作为较复杂的 ACS 仍然可以在早期阶段独立作用, 并在晚期阶段整合加工, 为两阶段加工理论提供了更多证据。

以往的研究虽然支持两阶段加工理论, 但目标定义的类别均较为简单(如：蓝色的字母), 激活类别中的各个特征时能够有较为充足的注意资源投入, 因此能够在早期进行独立特征加工, 在晚期才进行整合巩固。然而, 当搜索日常生活中更为复杂的类别信息时(如：恐怖分子, 可能包含衣着、长相、表情等复杂信息), 认知资源不足以对类别中的所有信息进行激活和保持, 早期阶段独立的特征通道加工会变得非常困难。基于最小费力的策略(Kim et al., 2019), 个体可能会根据当前的任务需求, 灵活地选择 ACS 的加工方式(Büsel et al., 2018; Ort et al., 2017)。在类别搜索任务中, 如果目标类别较为简单, 则可以将类别拆分为不同特征的组合, 通过两阶段加工影响视觉搜索; 如果目标类别较为复杂, 则会激活类别的整体概念或类别中的典型样例(原型), 根据刺激与概念或原型的相似度进行注意定向和选择; 如果目标类别特别复杂、而分心物较为简单时, 则会形成分心物的抑制模板, 对分心物进行注意抑制和排除, 以此高效地选择目标。因此, 未来研究可以对不同复杂程度的 cACS 的预激活和去激活模式进行探讨, 以此促进对类别信息加工模式和 cACS 加工阶段的理解。

3　类别注意控制定势的加工强度

和日常生活中的复杂客体类似, 当注意搜索任务中的目标被定义为多个特征的结合时, 会形成多个 ACS (Cho & Seok, 2018), 不同的 ACS 会存在作用权重(weight)上的差异(Weidner & Muller, 2009)。引导搜索模型(Guided Search model, Wolfe, 2007)认为, 任务定义的目标的不同属性会形成“优先图式” (priority map), 注意会根据优先图式对目标刺激进行选择和识别。在优先图式中每种属性存在权重的差异。维度权重理论(dimensional

weighting theory, Memelink & Hommel, 2013)认为，除了视觉搜索，在知觉加工和控制执行等过程中均存在权重的差异。

以往研究发现，从总体上看，cACS 和 fACS 存在加工强度的差异。具体到类别内部，不同属性、不同类别大小和不同类别层级的 cACS 均存在加工强度的差异。对不同 cACS 的加工强度差异进行总结，不仅可以考察类别信息之间或类别与其他信息在注意捕获中的权重差异，还可以明确 cACS 是如何指导个体在现实复杂场景中进行高效目标搜索的。

首先，作为高水平的复杂信息，类别引导注意时所形成的cACS与低水平的fACS存在加工强度上的差异，搜索类别定义的目标比搜索特征定义的目标效率低得多。Yang 和 Zelinsky (2009)发现，相对于特征搜索，类别搜索的反应时显著延长。Malcolm 和 Henderson (2009)发现在现实场景中进行类别搜索(文字提示搜索咖啡杯)需要扫描的时间比进行特征搜索(具体咖啡杯)时更长。Wu 等人(2016), Wu 和 Fu (2017)也发现，在联合视觉搜索任务中，当对目标匹配属性进行增强和对目标不匹配属性进行抑制时，fACS 的加工强度均强于 cACS 的加工强度。Nako 等人(2015)发现，抽象的文字线索在引导注意时的效率不如具体的图片线索。Wu 等(2013)也发现，当使用符号提示搜索字母类别时，虽然也能引起稳定的 N2pc，但其幅值显著低于由具体字母提示搜索字母时引起的 N2pc。cACS 的加工强度较 fACS 更弱可能有两种解释，一种解释认为，fACS 会根据任务提示激活某一维度的特征或某一具体形象以排除分心物，而 cACS 引导注意时会根据任务情景建立一个包含多种特征的目标库去预测目标，但由于目标库中还会包含从长时记忆中提取的同类目标，会使其不能很好的与特定任务相关的目标进行匹配，导致 cACS 引导注意的效果减弱；另一种解释认为，相对于特征这种生动具体的信息，类别信息激活的表征是抽象模糊的，不能形成精确的视觉模板。这种限制使 cACS 在引导注意匹配任务目标时的加工强度弱于 fACS 的。

第二，不同属性的 cACS 在加工强度上也会存在差异。属性是刺激的不同特征维度，如颜色、形状、大小等。其中，颜色相对于形状(Eimer & Grubert, 2014)和字母数字类别(Nako et al., 2016)在“优先图式”中具有较大的权重，引导视觉搜索的效率也更高。Eimer 等人(2014)发现，个体在进行视觉搜索时会更加依赖颜色特征来区别目标与分心物，从而弱化其他特征(例如形状)引导注意的能力。更进一步的，颜色 cACS 的加工强度应该也比其他属性的 cACS 加工强度更强。Wu 等人(2020)验证了这一假设，结果发现，当在联合搜索任务中同时定义了颜色 cACS 和形状 cACS 时，颜色 cACS 的加工强度更强。这说明，复杂的类别信息也会由于属性的不同而产生加工强度的差异，cACS 的作用也会由具体的属性通道(如颜色、形状等)进行特异化加工。

第三，类别的大小也会影响 cACS 的加工强度。随着类别内项目的增多，搜索效率会逐渐下降。说明类别越小，cACS 的加工强度越强(Wolfe, 2012; Yang & Zelinksy, 2009)。Wolfe (2012)发现，类别项目越多，搜索时间越长，且搜索时间与类别大小成对数关系。然而，也有研究结果不支持类别大小对 cACS 加工强度产生影响。Wu 等人(2013)发现字母和数字两种大小的类别目标引发的 N2pc 没有显著差异，Wu 等人(2016)也发现，不同数量的符号表征引导视觉搜索时，产生的注意捕获也没有显著差异。类别大小是否会影响 cACS 的加工强度可能和具体任务及考察指标有关。在早期的注意定向阶段(N2pc 指标; Wu et al., 2013; Wu et al., 2016)，类别内项目会进行平行独立的感知觉加工和早期注意定向，因此类别大小可能不会影响加工强度。然而，在晚期的巩固阶段(行为的反应时间; Wolfe, 2012; Yang & Zelinksy, 2009)，类别内的项目会进行整合，并与工作记忆中的目标进行依次比对，此时类别的大小会对反应选择产生影响。

第四，类别的层级也会影响 cACS 的加工强度。层级是类别概括性的体现，层级越高，概括性越强，抽象性越强；层级越低，概括性越弱，抽象性越弱。Maxfield 和 Zelinsky (2012)认为，相比高层级(superordinate-level)类别和一般(basic-level)类别，低层级(subordinate-level)类别作为线索时能够更好地引导视觉搜索，因为低层级类别有更大的特异性，能够提高搜索效率。Wu 等人(2018)使用 16 个熟悉的公司标志作为搜索目标，其中 8 个为概括性较高的大类别，另外 8 个为概括性较低的小类别，让被试学习后对指定目标的类别进

行判断。结果发现，对概括性较低的小类别的搜索引发的 N2pc 更大。Bravo 和 Farid (2009)也发现，在复杂的场景中，高层级类别线索不能较好的引导视觉搜索。类别的层级对 cACS 强度的影响可能和层级本身的组织结构有关，低层级的类别概括性较低，更加接近特征水平加工，加工强度更强；高层级的类别概括性较强，更加接近抽象概念水平加工，加工强度更弱。因此，层级对 cACS 强度的影响，本质上可能是特征与类别信息加工强度的差异导致的。未来研究若能分离类别的层级与特征概括性，则可更好的探讨此问题。

综上所述，cACS 在引导个体进行注意定向及加工时，可能会使用完整的抽象的类别概念模板，也可能会形成多个特征模板，由于认知资源的限制，同时保持多个 ACS 会使其加工强度变弱(Berggren et al., 2019)。就 cACS 加工强度的影响因素而言，目前为止更多的研究是从刺激的固有属性或任务要求等外部条件来进行探讨，结果发现对于某种或某类刺激的加工必定会强于其他刺激，如 fACS 会强于 cACS，颜色 cACS 会强于其他属性(形状、大小等)的 cACS，低层级的 cACS 强于高层级的 cACS。然而，不同 cACS 的加工强度的差异可能反映的实质是类别信息的加工方式：如果类别信息按照整体方法进行组织，那么其抽象性(fACS、层级等)会是影响 cACS 加工强度的主要因素；如果类别信息按照多个项目组合的方式进行组织，那么其包含项目的明确性和个数(属性、大小等)会是影响 cACS 加工强度的主要因素。因此，未来的研究可以针对类别信息组织形式进行更深入的考察，以此来探讨不同影响因素的差异。

4　类别注意控制定势的激活脑区

cACS 加工过程中，个体首先要根据任务情景预期并形成目标的视觉表征，再将从长时记忆中激活的视觉模板与搜索任务中的刺激进行对比，根据搜索规则设定判别标准，从而将目标与分心物进行区分，最后执行选择及反应过程，不同脑区会参与类别加工的不同阶段.首先，额顶网络与认知控制有关，在类别学习中负责表征与实施分类规则(Buschman et al., 2012; Meyers et al., 2008; Braunlich et al., 2015)。Antzoulatos 和 Miller (2011)比较了类别学习及分类过程中纹状体(striatum, STR)与前额皮层(prefrontal cortex, PFC)的作用。结果发现，在类别学习的初期, PFC 参与了从已有知识中抽象出规则并应用到新样本中的过程；而在多次学习后，获得类别知识后的执行阶段，STR 起主要作用。此外，顶叶皮层参与了整合类别成员的相关信息(如视觉空间信息) (Shadlen & Newsome, 2001; Freedman & Assad, 2009)。Swaminathan 和 Freedman (2012)发现，顶叶参与了类别信息整合以及决策的过程。虽然额顶网络和顶叶均参与了分类决策的过程，但在类别学习的早期阶段，主要是额顶网络(认知控制网络)参与，随着类别知识逐渐掌握，分类决策趋于自动化，分类任务则更多由顶叶参与。其次，还有研究发现辅助运动区(supplementary motor areas, SMA)和楔前叶(precuneus)会参与类别分类反应中的速度与准确率的权衡(Wenzlaff et al., 2011)。最后，在分类过程中，左侧颞上沟(left superior temporal sulcus, lSTS)可能参与了任务指定的目标类别与不同显著性(saliency)的刺激的对比过程，即参与了自下而上(刺激显著性)和自上而下加工(任务要求类别)的整合(Corradi-Dell'Acqua et al., 2015)。

当 cACS 引导注意进行视觉搜索时，会根据任务需求建立高级的类别模板，以此来增强对目标的捕获并抑制对分心物的识别。物体选择皮层(object-selective cortex, OSC)与 cACS 的作用最为相关。Peelen 等人(2009)要求被试在图片场景中搜索指定类别(人或车)，结果发现，腹侧颞叶皮层(ventral temporal cortex)和 OSC 的激活最强，搜索不同类别时脑区也会产生具有特异性的激活模式：在要求搜索人体时，脑区形成了搜索人体相关的激活模式；要求搜索汽车时，也会形成与搜索汽车相关的激活模式。Peelen 和 Kastner (2011)考察了根据线索进行类别搜索的过程，结果发现，当仅给被试提供线索而不进行具体搜索时，OSC 也表现出了类别特异的激活模式，这表明 OSC 的预激活能够促进对类别目标的检测，内侧前额叶(medial prefrontal cortex)可能负责指导这种自上而下的加工。此外，Peelen 和 Kastner (2011)还发现 OSC 的激活与任务表现呈正相关, V1 则与任务表现呈负相关。可能的解释是 OSC 与抽象的类别信息相关联，V1 与具体的特征信息相关联，说明特定特征的激活不利于类别目标的检测。最后，Seidl 等人(2012)还证明了 OSC 在抑制分心物中的

重要作用。任务要求被试在图片中搜索指定类别的刺激，并将刺激分为三种：目标、中性刺激和分心物(上一个任务要求搜索的目标)。结果发现，相对于中性刺激类别，OSC 的激活模式中包含更多目标类别的信息，而分心物类别的信息则更少。

综上所述，cACS 在注意捕获中进行加工时，需要多个脑区及网络参与。首先，在 cACS 作用之前，需要进行类别学习，类别学习的过程涉及类别规则的学习(额顶网络)及掌握(STR)、类别信息的整合与决策(顶叶)、类别分类反应权衡(SMA 和楔前叶)以及整合自上而下和自上而下信息(lSTS)。当 cACS 发生作用时，需要提取储存在长时记忆中的类别知识，OSC 参与了激活相应的 cACS 并进行目标选择和分心物抑制的过程。然而，OSC 的激活更多与类别信息本身有关，OSC 在注意网络(PFC, FEF, IPS, TPJ 等)中的作用尚不清楚，未来研究可以通过控制刺激本身(层级、属性、生物性等)和个体经验(预期、类别学习经历)因素，考察不同条件下 cACS 加工时的脑网络激活情况，以此建立 cACS 的脑网络模型。

5 总结与展望

在复杂的现实世界中，类别信息能够帮助我们高效地进行视觉搜索和注意选择。当目标定义为类别时，注意系统会形成类别特异的注意控制定势(cACS)。综合已有文献，本文总结出 cACS 的加工机制：首先，cACS 能够在加工早期的前注意阶段对类别信息进行预激活(OSC)，促进对类别目标的检测。当视觉刺激呈现后，cACS 能够对目标定义属性和当前刺激进行对比(N1，P1 成分)，额顶网络(PFC，LIP 等)参与了类别判断过程，左侧颞上沟(lSTS)参与了自上而下与自下而上的整合过程。与目标定义匹配的刺激能够引发注意捕获(N2pc 成分)，而与目标定义不匹配的刺激会引发注意抑制(P_D 成分)。当 cACS 作用于视觉搜索任务时，注意的加工强度会受到目标定义的不同属性(颜色、形状等)、类别内项目大小、类别层级等因素的影响。此外，如果目标定义为多种 cACS，那么每个属性通道的 cACS 会独立影响注意捕获和抑制，独立影响后的较晚期阶段，复杂搜索任务下的多个 cACS 能够整合成一个 cACS，并对工作记忆巩固(CDA 成分)及反应权衡(正确率和反应时，SMA 和楔前叶参与)产生影响。尽管前人的研究对类别控制定势在注意捕获中的作用进行了探讨，但还有一些问题存在争议，有待进一步研究。

首先，除 ACS 外，以往研究发现了拒绝模板(template for rejection)。在任务不确定的情况下，注意系统可以根据非目标的抑制或忽略的属性形成拒绝模板，以此主动抑制分心物的属性(Gaspelin & Luck, 2018; Kim et al., 2019; Chang & Egeth, 2019; Moorselaar & Slagter, 2019; Gaspelin et al., 2019)。然而，只有当个体预先明确需要抑制的特征时，拒绝模板才能起作用。拒绝模板需要大量的认知资源，个体需要经过练习来提高对分心物的注意抑制(Berggren & Eimer, 2020b)。ACS 和拒绝模板并不冲突，它们分别针对注意系统在注意捕获中对目标属性的选择和对分心物属性的抑制功能，强调两种过程的主动选择性。拒绝模板补充了 ACS 的形成方式，认为注意系统能够采取灵活的加工策略，在无法确认目标属性时，能够通过主动抑制来排除分心物，从而消耗更少的工作记忆资源，使视觉搜索更加高效。然而，拒绝模板作用的前提条件较为严格，不仅需要明确分心物的特征，还需要经过大量的练习才能形成，而练习所形成的拒绝模板可能反映的是一种习惯化而非注意系统的选择。未来的研究如果能在同一任务中控制目标和分心物的权重大小，就可以进一步解释 ACS 与拒绝模板形成条件和作用强度的差异，为注意捕获中的目标选择与分心物抑制过程提供证据。

其次，以往研究虽然对 cACS 的加工机制进行了探讨，但并没有对不同类型的 cACS 进行区分。按照组成类别的形式，cACS 可以分为基于概念和基于原型的。基于概念的 cACS 是指任务要求搜索由概念组成的类别目标(Wyble et al., 2013)。例如，当要求搜索字母或数字类别时，会从长时记忆中激活字母或数字的概念所包含的所有项目，当视觉刺激与类别里的某个项目匹配时，cACS 会引导注意进行目标选择(Wu et al., 2016)。概念的形成是长期学习的结果，因此基于概念的 cACS 的形成需要长时记忆的参与。此外，由于概念 cACS 激活的类别项目数量较多，项目间的特征联系较少，因此会消耗更多的认知资源，搜索效率可能会下降(Berggren & Eimer, 2020a)。基于原型的 cACS 是任务要求搜索由原型组成的类别目标(Wu et al., 2020)。原型是类别中最典型的、

最基础的表征，当视觉刺激与该原型的特征相似时，cACS 会认为它属于目标定义的类别，从而引导注意对其进行选择(Yang & Zelinsky, 2009; Lim et al., 2021)；与基于概念的类别中包含特定项目不同，基于原型的类别中项目是在特征上与原型相似的且动态可变的。因此，基于原型的 cACS 可能需要更多的感知觉加工的参与(Lech et al., 2016)。然而，以往研究对基于原型和基于概念的类别加工没有进行直接的比较，对于两种 cACS 涉及到的加工过程、参与脑区和认知资源等，均没有直接的考察。同时考察两种 cACS 在注意捕获中的作用，不仅能够探讨类别形成的机制，还能够对 cACS 的加工阶段进行更深入的考察。

最后，由于日常生活的类别存在大小、形状、纹理、生物性、熟悉性等方面的影响，如果人工创造和定义一种类别，能够将这些因素加以控制，便能够更好的探讨 cACS 的作用机制。相对于日常生活中已经形成的、经过长期熟悉性学习过的现实类别，人工类别的 cACS 的作用可能涉及到更多的类别联结过程，需要的认知资源也会更多。Folstein 等人(2017)让个体学习包含 3 个特征维度(颜色、形状、纹理)的人工类别，学习后完成类别匹配任务。结果发现，随着刺激与目标匹配的特征数量增加，SN/N250 成分(与注意选择和客体识别有关)的波幅增大。说明对人工类别的选择是基于定义类别的特征，而非类别本身。之后，随着人工类别学习时间的增长，对刺激的反应逐渐基于完整的类别，而不是组成类别的特征。Antzoulatos 和 Miller (2011)也发现，经过多次学习，类别信息激活时由 PFC 的参与逐渐变为 STR 的参与。然而，以往研究对于人工类别的学习过程及其相应的神经机制的探索尚不完善，未来还需要进一步探索。

参考文献

Alexander, R. G., & Zelinsky, G. J. (2011). Visual similarity effects in categorical search. *Journal of Vision*, *11*(8), 69–71.

Antzoulatos, E. G., & Miller, E. K. (2011). Differences between neural activity in prefrontal cortex and striatum during learning of novel abstract categories. *Neuron*, *71*(2), 243–249.

Battistoni, E., Kaiser, D., Hickey, C., & Peelen, M. V. (2018). The time course of spatial attention during naturalistic visual search. *Cortex*, *122*, 225–234.

Berggren, N., Nako, R., & Eimer, M. (2019). Out with the old: New target templates impair the guidance of visual search by pre-existing task goals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *149*(6), 1156–1168.

Berggren, N., & Eimer, M. (2020a). Attentional access to multiple target objects in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *32*(2), 283–300.

Berggren, N., & Eimer, M. (2020b). The guidance of attention by templates for rejection during visual search. *Attention Perception & Psychophysics*, *83*(1), 38–57.

Braunlich, K., Gomez-Lavin, J., & Seger, C. A. (2015). Frontoparietal networks involved in categorization and item working memory. *NeuroImage*, *107*, 146–162.

Bravo, M. J., & Farid, H. (2009). The specificity of the search template. *Journal of Vision*, *9*(1), 34.

Buschman, T., Denovellis, E., Diogo, C., Bullock, D., & Miller, E. (2012). Synchronous oscillatory neural ensembles for rules in the prefrontal cortex. *Neuron*, *76*(4), 838–846.

Büsel, C., Pomper, U., & Ansorge, U. (2018). Capture of attention by target-similar cues during dual-color search reflects reactive control among top-down selected attentional control settings. *Psychonomic Bulletin & Review*, *26*(2), 531–537.

Chang, S., & Egeth, H. E. (2019). Enhancement and suppression flexibly guide attention. *Psychological Science*, *30*(12), 1724–1732.

Cho, S. A., & Cho, Y. S. (2018). Multiple attentional control settings at distinct locations without the confounding of repetition priming. *Attention Perception & Psychophysics*, *80*, 1718–1730.

Contini, E. W., Wardle, S. G., & Carlson, T. A. (2017). Decoding the time-course of object recognition in the human brain: From visual features to categorical decisions. *Neuropsychologia*, *105*, 165–176.

Corradi-Dell'Acqua, C., Fink, G. R., & Weidner, R. (2015). Selecting category specific visual information: Top-down and bottom-up control of object based attention. *Consciousness and Cognition*, *35*, 330–341.

Eimer, M., & Grubert, A. (2014). The gradual emergence of spatially selective target processing in visual search: From feature-specific to object-based attentional control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(5), 1819–1831.

Folk, C. L., Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2002). Made you blink! Contingent attentional capture produces a spatial blink. *Perception & Psychophysics*, *64*(5), 741–753.

Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of experimental psychology: Human Perception and Performance*, *18*(4), 1030–1044.

Folk, C. L., & Remington, R. W. (1998). Selectivity in distraction by irrelevant featural singletons: Evidence for two forms of attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *24*(3), 847–858.

Folstein, J. R., Fuller, K., Howard, D., & Depatie, T. (2017).

The effect of category learning on attentional modulation of visual cortex. *Neuropsychologia*, *104*, 18–30.

Freedman, D. J., & Assad, J. A. (2009). Distinct encoding of spatial and nonspatial visual information in parietal cortex. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *29*(17), 5671–5680.

Gaspelin, N., & Luck, S. J. (2018). The role of inhibition in avoiding distraction by salient stimuli. *Trends in Cognitive Sciences, 22*(1), 79–92.

Gaspelin, N., Gaspar, J. M., & Luck, S. J. (2019). Oculomotor inhibition of salient distractors: Voluntary inhibition cannot override selection history. *Visual Cognition*, *27*(3-4), 227–246.

Giammarco, M., Plater, L., Hryciw, J., & Al-Aidroos, N. (2021). Getting it right from the start: Attentional control settings without a history of target selection. *Attention Perception & Psychophysics*, *83*(1), 133–141.

Grubert, A., Fahrenfort, J., Olivers, C. N. L., & Eimer, M. (2017). Rapid top-down control over template-guided attention shifts to multiple objects. *NeuroImage*, *146*, 843–858.

Grubert, A., & Eimer, M. (2018). The time course of target template activation processes during preparation for visual search. *Journal of Neuroscience*, *38*(44), 9527–9539.

Grubert, A., & Eimer, M. (2020). Preparatory template activation during search for alternating targets. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *32*(8), 1525–1535.

Jenkins, M., Grubert, A., & Eimer, M.. (2016). Rapid parallel attentional selection can be controlled by shape and alphanumerical category. *Journal of Cognitive Neuroscience, 28*(11), 1672–1687.

Kim, H., Park, B. Y., & Cho, Y. S. (2019). Uncertainty as a determinant of attentional control settings. *Attention Perception & Psychophysics*, *81*, 1415–1425.

Kiss, M., & Eimer, M. (2011). The absence of a visual stimulus can trigger task-set-independent attentional capture. *Psychophysiology*, *48*(10), 1426–1433.

Kiss, M., Grubert, A., & Eimer, M. (2013). Top-down task sets for combined features: Behavioral and electrophysiological evidence for two stages in attentional object selection. *Attention Perception & Psychophysics*, *75*(2), 216–228.

Kiss, M., Jolicœur, P., Dell'Acqua, R., & Eimer, M. (2008). Attentional capture by visual singletons is mediated by top-down task set: New evidence from the N2pc component. *Psychophysiology*, *45*(6), 1013–1024.

Lamy, D., Leber, A., & Egeth, H. E. (2004). Effects of task relevance and stimulus-driven salience in feature-search mode. *Journal of experimental psychology: Human Perception and Performance*, *30*(6), 1019–1031.

Lech, R. K., Güntürkün, O., & Suchan, B. (2016). An interplay of fusiform gyrus and hippocampus enables prototype- and exemplar-based category learning. *Behavioural Brain Research*, *311*, 239–246.

Lien, M., Ruthruff, E., & Cornett, L. (2010). Attentional capture by singletons is contingent on top-down control settings: Evidence from electrophysiological measures. *Visual Cognition*, *18*(5), 682–627.

Lim, Y. I., Clement, A., & Pratt, J. (2021). Typicality modulates attentional capture by object categories. *Attention Perception & Psychophysics*, *83*, 1397–1406.

Luck, S. J., Gaspelin, N., Folk, C. L., Remington, R. W., & Theeuwes, J. (2021). Progress toward resolving the attentional capture debate. *Visual Cognition*, *29*(1), 1–21.

Malcolm, G. L., & Henderson, J. M. (2009). The effects of target template specificity on visual search in real-world scenes: Evidence from eye movements. *Journal of Vision, 9*(11), 1–13.

Maxfield, J. T., & Zelinsky, G. J. (2012). Searching Through the Hierarchy: How Level of Target Categorization Affects Visual Search. *Visual Cognition, 20*(10), 1153–1163.

Memelink, J., & Hommel, B. (2013). Intentional weighting: A basic principle in cognitive control. *Psychological Research*, *77*(3), 249–259.

Meyers, E. M., Freedman, D. J., Kreiman, G., Miller, E. K., & Poggio, T. (2008). Dynamic population coding of category information in inferior temporal and prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology, 100*(3), 1407–1419.

Moorselaar, D. V., & Slagter, H. A. (2019). Learning what is irrelevant or relevant: Expectations facilitate distractor inhibition and target facilitation through distinct neural mechanisms. *Journal of Neuroscience*, *39*(35), 6953–6967.

Nako, R., Grubert, A., & Eimer, M. (2016). Category-based guidance of spatial attention during visual search for feature conjunctions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *42*(10), 1571–1586.

Nako, R., Smith, T. J., & Eimer, M. (2015). Activation of new attentional templates for real-world objects in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *27*(5), 902–912.

Ort, E., Fahrenfort, J. J., & Olivers, C. N. L. (2017). Lack of free choice reveals the cost of having to search for more than one object. *Psychological Science*, *28*(8), 1137–1147.

Peelen, M.V., Fei-Fei, L., & Kastner, S. (2009). Neural mechanisms of rapid natural scene categorization in human visual cortex. *Nature*, *460*(7251), 94–97.

Peelen, M. V., & Kastner, S. (2011). A neural basis for real-world visual search in human occipitotemporal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(29), 12125–12130.

Peelen, M. V., & Kastner, S. (2014). Attention in the real world: Toward understanding its neural basis. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*(5), 242–250.

Reeder, R. R., & Peelen, M. V. (2013). The contents of the search template for category-level search in natural scenes. *Journal of Vision*, *13*(3), 1–13.

Seidl, K. N., Peelen, M. V., & Kastner, S. (2012). Neural evidence for distracter suppression during visual search in real-world scenes. *The Journal of Neuroscience*, *32*(34), 11812–11819.

Shadlen, M. N., & Newsome, W. T. (2001). Neural basis of a perceptual decision in the parietal cortex (area LIP) of the rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology, 86*(4), 1916–1936.

Swaminathan, S. K., & Freedman, D. J. (2012). Preferential encoding of visual categories in parietal cortex compared with prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, *15*(2), 315–320

Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, *51*(6), 599–606.

Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, *135*(2), 77–99.

Wang, B., & Theeuwes, J. (2020). Salience determines attentional orienting in visual selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *46*(10), 1051–1057.

Weidner, R., & Muller, H. J. (2009). Dimensional weighting of primary and secondary target-defining dimensions in visual search for singleton conjunction targets. *Psychological Research, 73,* 198–211.

Wenzlaff, H., Bauer, M., Maess, B., & Heekeren, H. R. (2011). Neural characterization of the speed-accuracy tradeoff in a perceptual decision-making task. *Journal of Neuroscience*, *31*(4), 1254–1266.

Wolfe, J. M. (2007). Guided search 4.0: Current progress with a model of visual search. In W. Gray (Ed.), *Integrated models of cognitive systems* (pp. 99–119). New York, NY: Oxford.

Wolfe, J. M. (2012). Saved by a Log: How do humans perform hybrid visual and memory search? *Psychological Science*, *23*(7), 698–703.

Wu, R., McGee, B., Echiverri, C., & Zinszer, B. D. (2018). Prior knowledge of category size impacts visual search. *Psychophysiology, 55*(8), e13075.

Wu, R., Scerif, G., Aslin, R. N., Smith, T. J., Nako, R., & Eimer, M. (2013). Searching for something familiar or novel: Top–down attentional selection of specific items or object categories. *Journal of Cognitive Neuroscience, 25*(5), 719–729.

Wu, X., & Fu, S. (2017). The different roles of category- and feature-specific attentional control settings on attentional enhancement and inhibition. *Attention Perception & Psychophysics*, *79*(7), 1–11.

Wu, X., Liu, X., & Fu, S. (2016). Feature- and category-specific attentional control settings are differently affected by attentional engagement in contingent attentional capture. *Biological Psychology, 118*, 8–16.

Wu, X., Wang, X., Saab, R., & Jiang, Y. (2020). Category-based attentional capture can be influenced by colorand shape-dimensions independently in the conjunction search task. *Psychophysiology*, *57*(4), e13526.

Wyble, B., Folk, C., & Potter, M. C. (2013). Contingent attentional capture by conceptually relevant images. *Journal of experimental psychology. Human Perception and Performance*, *39*(3), 861–871.

Yang, H., & Zelinsky, G. J. (2009). Visual search is guided to categorically defined targets. *Vision Research*, *49*(16), 2095–2103.

The processing mechanism of category-specific attentional control settings in attentional capture

WU Xia[1,2,3,4], WANG Junzhe[1], WANG Yun[1], CHEN Ying[5], YANG Haibo[1,2,3]

([1] *Faculty of Psychology, Tianjin Normal University*; [2] *Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy of Psychology and Behavior*; [3] *Tianjin Social Science Laboratory of Students' Mental Development and Learning, Tianjin* 300387, *China*) ([4] *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*) ([5] *College of Vocational Education, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin* 300222, *China*)

Abstract: attentional capture refers to the phenomenon that stimuli can involuntarily capture attention in the processing of orientation. In the complex visual search task, category-specific attentional control settings (cACS) can help us to guide attention to the stimuli that match the target-defining category, and then prioritize the processing of the matching stimuli. Exploring the mechanism of cACS in attentional capture can not only extend the theoretical account of the research field of attentional capture, but also provide guidance for real life. Previous studies have focused on the effects of cACS in attentional capture, including the processing stage, the impact factors of the processing weight, and the involved brain regions. We summarized the mechanism underlying the cACS in attentional capture. Future research can explore the mechanism of rejected templates for categorical disctractors, the differences among different types of categories and the processing of the artificial category.

Key words: attentional capture, attentional control settings, category, cACS